

徐同, 李佳, 杨玉华, 等. 2016. SMS-WARMS V2.0 模式预报效果检验. 气象, 42(10):1176-1183.

SMS-WARMS V2.0 模式预报效果检验^{* 1}

徐 同^{1,2} 李 佳^{1,2} 杨玉华^{1,2} 王晓峰^{1,2} 陈葆德^{1,2}

1 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030

2 中国气象局台风数值预报重点实验室, 上海 200030

提 要: 对新一代上海区域中尺度模式(SMS-WARMS V2.0)系统预报结果进行了统计检验, 检验量包括降水、2 m 温度场、10 m 风速、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 温度场、风场和相对湿度。结果表明: 新一代模式的预报性能得到明显改善, 模式各量级降水的 TS 和 ETS 评分都有提高, 说明模式对降水事件发生的捕捉能力进一步增强了。分析 2 m 温度场的均方根误差及预报准确率发现新版业务模式的 2 m 温度场预报优于原业务模式。此外新业务模式的 10 m 风速预报的均方根误差的逐月和多月平均值都低于原业务模式。高空形势场检验结果显示, 新业务模式对 500 hPa 位势高度场和 850 hPa 温度场的预报都优于原业务模式, 850 hPa 风场预报相关系数高于原业务模式, 850 hPa 相对湿度提高不明显。个例分析表明, 新版业务模式强降水预报产品相对于原业务模式产品对天气预报更具参考价值。

关键词: SMS-WARMS V2.0 模式, 预报, 检验

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.10.002

Verification of SMS-WARMS V2.0 Model Forecast Results

XU Tong^{1,2} LI Jia^{1,2} YANG Yuhua^{1,2} WANG Xiaofeng^{1,2} CHEN Baode^{1,2}

1 Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030

2 Key Laboratory of Numerical Modeling for Tropical Cyclone, CMA, Shanghai 200030

Abstract: Forecast products from SMS-WARMS V2.0, including rainfall, 2 m temperature, 10 m wind speed, geopotential height at 500 hPa and temperature, wind and relative humidity at 850 hPa are verified. Overall, the forecasts of SMS-WARMS V2.0 are significantly improved. The improved TS and ETS of rainfall forecast for all grades indicate that the model can capture the occurrence of precipitation events better. The verification on 2 m temperature also show large improvement. Moreover, the monthly and average monthly mean *RMSE* value of 10 m wind speed of the new model is lower than the old one. Both 500 hPa geopotential height and 850 hPa wind field from the new model are better, the same results for the correlation coefficient of 850 hPa wind forecast. However, there is little improvement in the 850 hPa relative humidity forecast. Case analysis shows that the heavy precipitation forecast product of SMS-WARMS V2.0 has more reference significance than that of SMS-WARMS V1.0.

Key words: SMS-WARMS V2.0 model, forecast, verification

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB956003)、国家自然科学基金项目(41175094)、上海市科学技术委员会重点基金(13231203300)及国家科技支撑计划项目(2012BAC21B02)共同资助

2015 年 8 月 7 日收稿; 2016 年 8 月 30 日收修定稿

第一作者: 徐同, 主要从事数值模式检验和资料影响评估. Email: xut@mail.typhoon.gov.cn

通信作者: 陈葆德, 主要从事数值天气预报研究工作. Email: baode@mail.typhoon.gov.cn

引 言

上海区域中尺度模式系统 2009 年正式投入业务运行,是目前华东区域气象中心主要的数值预报业务模式系统。模式预报范围主要为我国东部地区,模式水平分辨率为 9 km。以 GFS 分析场为初猜场,分别在每日 00、06、12 和 18 UTC(分别对应北京时 08、14、20 和 02 时)起报,预报时效为 72 h。2011 年 SMS-WARMS 通过了中国气象局组织的区域模式业务化申请,并实时推送模式数据至中国气象局数值预报中心区域中尺度模式预报检验平台进行检验评估。根据近 3 年数值预报中心发布的业务区域模式统一检验评估季报显示,SMS-WARMS 对地面要素和高空形势场的预报都在区域业务模式中名列前茅。从 2007 年模式建立开始,模式开发人员就十分重视对模式系统预报效果的检验分析,每年都会对汛期较长时间的预报产品进行系统检验和评估(徐同等,2010;2011),检验结果显示这个版本的模式对小雨的漏报较高,因此对小雨的 TS 技巧评

分相对要低一些。2013 年对模式系统进行了升级改造,包括扩大了模式预报区域(图 1),增加了垂直层次,升级了同化系统(表 1)。具体体现在以下几个方面:同化系统改进方面,由于 GFS 从 2013 年使用 Hybrid 同化技术后背景场资料误差有所减少,因此新业务模式的同化系统增加了模式背景场权重的使用,对模式背景场协方差进行了更新。在物理初始化方面,新版业务模式云分析中,对云水物质的处理进行了调整,以使从观测资料得到的云水物质与模式的微物理方案相匹配。在物理过程方面,长、短波辐射都使用 RRTMG 方案;考虑了浅对流过程,并对微物理方案进行了调整,包括调整了雨滴末端速度和考虑我国区域的气溶胶的分布情况等。新版模式于 2014 年 6 月开始进行业务试运行。为了验证模式改进效果,对新一代上海区域中尺度模式(下文简称 SMS-WARMS V2.0)和原区域中尺度模式(下文简称 SMS-WARMS V1.0)的 2014 年 6—12 月的试运行结果进行检验,检验量包括降水、2 m 温度场、10 m 风速、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 温度场。

表 1 SMS-WARMS V2.0 与 SMS-WARMS V1.0 模式主要差别

Table 1 The difference between SMS-WARMS V2.0 and SMS-WARMS V1.0

项目	SMS-WARMS V1.0	SMS-WARMS V2.0
格点数	265×265	760×600
水平分辨率/km	9	9
垂直层次	35	51
模式系统	WRF3.2	WRF3.5.1
同化系统	ADAS5.2.1	ADAS5.3.3
微物理方案	WRF Single-Moment 6-class scheme	Thompson 双参数云微物理方案

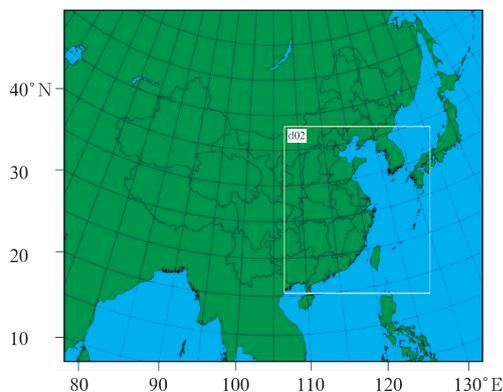


图 1 SMS-WARMS V2.0 模式区域范围
(d02 为 SMS-WARMS V1.0 模式范围)

Fig. 1 Model region in the range of SMS-WARMS V2.0
(d02 is the SMS-WARMS V1.0 model area)

1 资 料

用于检验的模式预报资料为 2014 年 6—12 月 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式降水、2 m 温度、500 hPa 位势高度和 850 hPa 温度的预报。

使用的观测资料主要包括:2014 年 6—12 月中国 2401 个台站逐 6 h 降水量观测数据,并将 4 个 6 h 间隔时次的资料进行累加得到 24 h 累计降水。对形势场的检验选用了我国 185 个探空站资料进行检验。

2 检验方法

2.1 降水检验方法

降水的检验方法采用 2×2 列联表计算模式降水的 4 种评分指数(表 2)(Gilbert, 1984; Murphy et al, 1986; Murphy, 1996; 潘留杰等, 2014a; 2014b; 王雨, 2002; 王雨等, 2010; 2013; 于晓晶等, 2014; 刘静等, 2014; 陈超君等, 2014a; 2014b; 许建伟等, 2014; 张利红等, 2014; 张宏芳等, 2014; 成璐等, 2014; 刘佳等, 2014)。4 种评分指数分别为:

(1) 预报偏差 $BIAS = \frac{A+B}{A+C}$, 表示预报事件发生的次数与观测事件发生次数的比率;

(2) 临界成功指数 $CSI = \frac{A}{A+B+C}$, 通常也称之为 TS 评分;

(3) 公平技巧评分 $ETS = \frac{A - C_1}{A+B+C-C_1}$, $C_1 = \frac{(A+B)(A+C)}{A+B+C+D}$, C_1 表示随机预报的值, ETS 表示除去随机偶然事件后, 事件发生且预报正确的次数与事件发生总次数(预报或者观测)的比率, 阈值范围为 $-\frac{1}{3} \sim 1$, $ETS=0$ 表示无预报技巧, 理想情况下 $ETS=1$;

(4) PSS 评分, $PSS = \frac{AD - BC}{(A+C)(B+D)}$, PSS 反映了成功预报与空报的差异, 阈值范围 $-1 \sim 1$, 理想的预报 $PSS=1$, $PSS=0$ 表示无预报技巧。

表 2 降水检验列联表

预报事件	观测事件	
	发生	未发生
发生	A	B
未发生	C	D

2.2 温度检验方法

先将模式格点温度预报值插值到站点上, 然后用站点值检验温度预报。温度检验方法采用均方根误差 $RMSE$ 及 $\leq 1^\circ\text{C}$ 和 2°C 的预报准确率来检验模式对 2 m 温度场的预报性能。

(1) 均方根误差其理想值为 0, 计算公式为

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

其中 F_i 为预报值, O_i 为观测值。

(2) 预报准确率指预报正确的站(次)数和预报总站(次)数之比。参照中国气象局天气分析预报质量检验方法中的规定(中国气象局, 2005), 若满足预报值和观测值之差的绝对值 $\leq 1^\circ\text{C}$ 和 2°C , 则认为预报正确。

2.3 形势场检验方法

形势场采用相关系数 (R)、均方根误差 ($RMSE$) 来分析模式预报场与观测场的相关性和差异。

3 检验结果分析

3.1 降水检验

为了充分认识和了解当前 SMS-WARMS V2.0 的降水预报水平, 对 2014 年 6—12 月 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式对原区域模式范围的降水预报进行累加检验。图 2 给出 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式 24 和 48 h 预报时效的 TS 评分、ETS 评分、PSS 评分和偏差。

如图 2a 所示, SMS-WARMS V2.0 相对于 SMS-WARMS V1.0 对不同量级降水预报的 TS 评分均有提高, 48 h 的提高相对于 24 h 更为明显。对应于图 2c 的 PSS 评分分析可见, 模式对各个降水量级的 PSS 评分均有提高, 说明模式对降水事件发生和不发生的预报能力都进一步增强了。考虑预报事件本身难度的相对性和偶然预报正确项, ETS 评分可以给出更为客观的评估结果。如图 2b 所示, 与 SMS-WARMS V1.0 相比, SMS-WARMS V2.0 除在 24 h 的大雨预报 ETS 技巧评分基本持平外, 其余量级降水均有提高, 同样, 48 h 的提高相对于 24 h 更加明显。进一步分析预报偏差发现, SMS-WARMS V2.0 相对于 SMS-WARMS V1.0 的各个量级的预报偏差均有所增加, 这说明新模式的空报是比较多的。

图 3 显示了 2014 年 6—12 月 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式在各个降水量级上的 ETS 评分分布情况。如图 3a 所示, 两个模式

的 ETS 评分主要分布在 0.4~0.8, SMS-WARMS V2.0 模式小雨预报 ETS 评分在 0.6 以上区间的分布数要明显高于 SMS-WARMS V1.0 模式,这也是造成前者 ETS 平均值高于后者的主要原因。分析中雨的情况可见(图 3b),两个模式的 ETS 评分主要分布在 0.0~0.5, SMS-WARMS V2.0 模式 ETS 评分在 0.2~0.3 以及 0.4 以上区间的分布数要高于 SMS-WARMS V1.0 模式。两个模式大雨的 ETS 评分主要分布在 0.0~0.4(图 3c), SMS-

WARMS V2.0 模式 ETS 评分在 0.1~0.2 的分布数要高于 SMS-WARMS V1.0 模式,但在 0.4~0.6 的分布数低于 SMS-WARMS V1.0 模式,因此两者的平均值基本相当。两个模式暴雨的 ETS 评分主要分布在 0.0~0.4,其中 SMS-WARMS V2.0 模式 ETS 评分在 0.1~0.3 区间的分布数要高于 SMS-WARMS V1.0 模式。SMS-WARMS V2.0 模式对大暴雨预报的 ETS 评分在 0.0~0.1 和 0.3~0.4 区间内的分布数要高于 SMS-WARMS V1.0 模式。

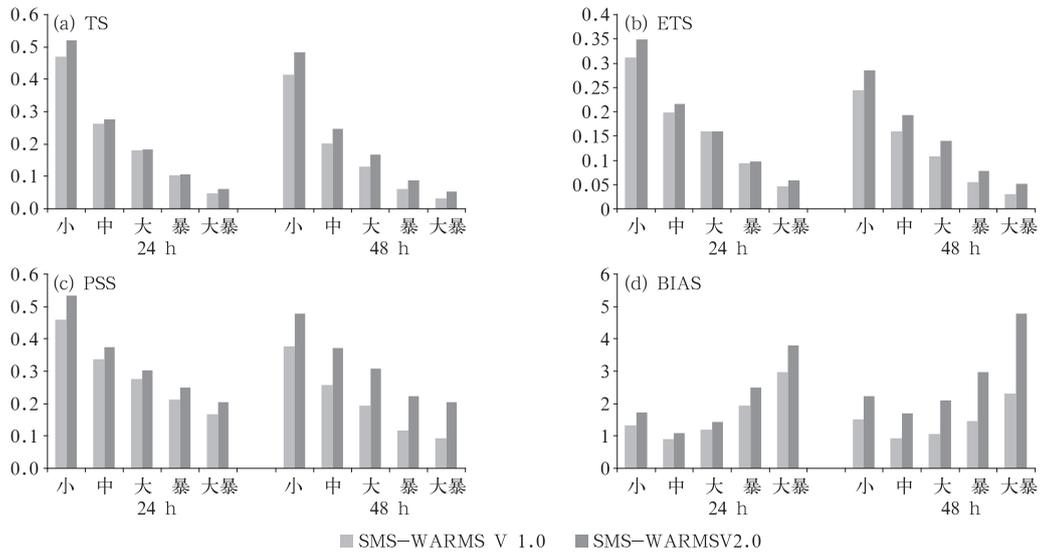


图 2 SMS-WARMS V2.0 与 SMS-WARMS V1.0 模式对不同强度降水 24 和 48 h 预报的 TS 评分(a)、ETS 评分(b)、PSS 评分(c)和偏差(d)
 Fig. 2 Threat score (a), equitable threat score (b), peirce skill score (c) and BIAS (d) in different rainfall thresholds for the 24 h and 48 h prediction of SMS-WARMS V2.0 and SMS-WARMS V1.0

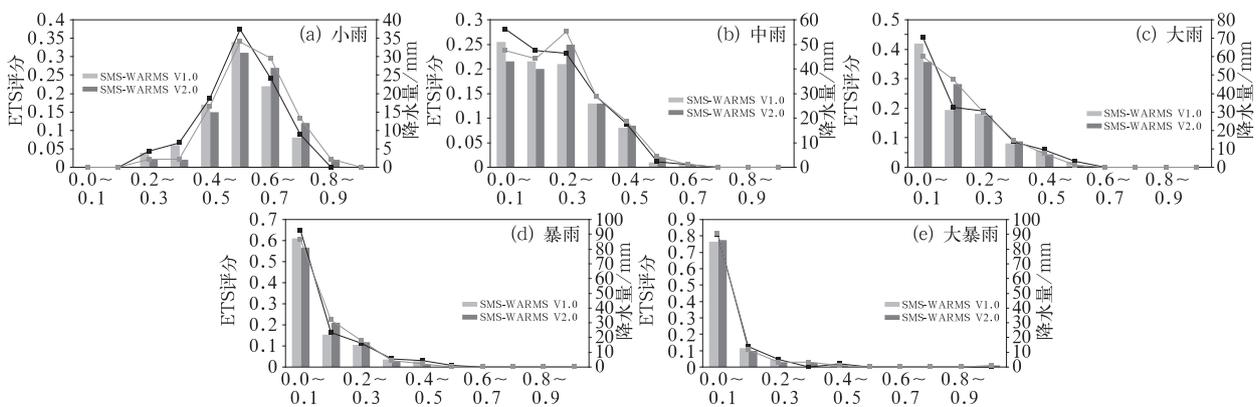


图 3 SMS-WARMS V2.0 与 SMS-WARMS V1.0 模式降水预报 ETS 评分在各个降水量级上的分布
 Fig. 3 The distribution of equitable threat score in different rainfall prediction thresholds of SMS-WARMS V2.0 and SMS-WARMS V1.0

3.2 2 m 温度检验

图 4 给出 2014 年 6—12 月 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式 2 m 温度场 24 和 48 h 预报均方根误差 (RMSE) 检验结果, 从中可见, SMS-WARMS V2.0 对 6—10 月的 2 m 温度场预报 RMSE 小于 SMS-WARMS V1.0 模式, 而 11—12 月的 RMSE 要大于 SMS-WARMS V1.0 模式, 从多月平均值来看, SMS-WARMS V2.0 温度预报误差总体要小于 SMS-WARMS V1.0 模式。逐月分析来看, SMS-WARMS V2.0 模式 2 m 温度场预报误差比较稳定, 基本在 3°C 以下, 其中 8 和 9 月 2 m 温度场的 RMSE 达到最小值, 低于 1.7°C。

图 5 为 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式 24、48 h 的 2 m 温度预报场预报 <2°C 和 1°C 的预报准确率检验结果。从中可见, 两个模式 24 h <2°C 或 1°C 的预报准确率均大于 48 h 的预报准确率, <2°C 的预报准确率要高于 1°C 的预报准确率。分析两模式的差别可见, SMS-WARMS V2.0 模式的 2 m 温度预报准确率更高。从逐月的结果分析, SMS-WARMS V2.0 模式从 2014 年 6—9 月的

24 和 48 h 预报准确率都要高于 SMS-WARMS V1.0 模式, 但 2014 年 10—12 月的预报准确率要比 SMS-WARMS V1.0 模式略低, 从多月平均值来看, 要高于 SMS-WARMS V1.0 模式。SMS-WARMS V2.0 模式 24 h <2°C (<1°C) 的预报准确率最高可达 75% (45%), 48 h <2°C (<1°C) 的预报准确率最高可达 72% (42%), SMS-WARMS V1.0 模式对应的结果分别为 75% (45%) 和 69% (39%)。

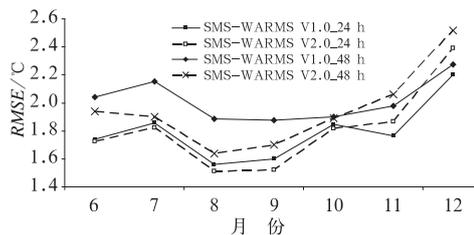


图 4 SMS-WARMS V2.0 与 SMS-WARMS V1.0 模式 2 m 温度场 24 和 48 h 预报 RMSE 检验
Fig. 4 Verification results of RMSE in monthly mean 24 h and 48 h forecasts of 2 m temperature of SMS-WARMS V2.0 and SMS-WARMS V1.0

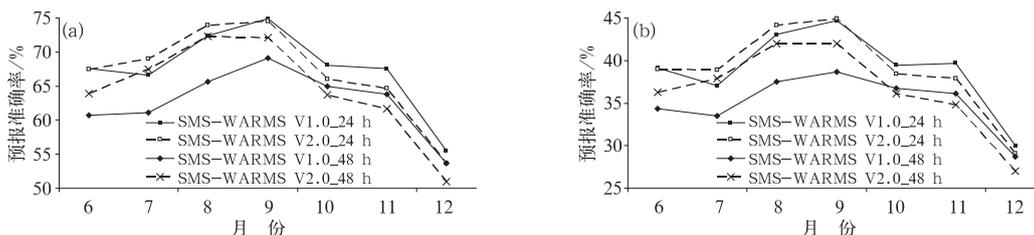


图 5 SMS-WARMS V1.0 和 SMS-WARMS V2.0 模式 2 m 温度场 24 和 48 h 预报准确率检验
(a) $|F_i - O_i| \leq 2^\circ\text{C}$, (b) $|F_i - O_i| \leq 1^\circ\text{C}$
Fig. 5 Verification results of monthly mean 24 h and 48 h 2 m temperature forecast accuracy of SMS-WARMS V2.0 and SMS-WARMS V1.0
(a) $|F_i - O_i| \leq 2^\circ\text{C}$, (b) $|F_i - O_i| \leq 1^\circ\text{C}$

从 RMSE 检验和预报准确率检验分析可知, SMS-WARMS V2.0 模式相对于 SMS-WARMS V1.0 模式对 2 m 温度的预报性能是有所提高的。

3.3 10 m 风速检验

图 6 给出 2014 年 6—12 月 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WARMS V1.0 模式 10 m 风速 24 和 48 h 预报 RMSE 检验结果。由图可见, SMS-WARMS V2.0 模式的预报 RMSE 从逐月到多月平均值相对

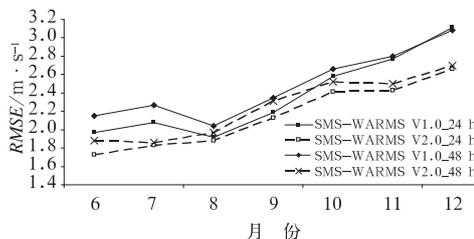


图 6 同图 4, 但为 10 m 风速
Fig. 6 Same as Fig. 4, but for 10 m wind speed

于 SMS-WARMS V1.0 模式都是减小的,其中 24 h 预报逐月 RMSE 提高最为明显的为 12 月, SMS-WARMS V1.0 模式为 3.11, SMS-WARMS V2.0 模式为 2.66, 相对提高 0.45。48 h 的结果和 24 h 比较相似,也是各个月的预报误差较 SMS-WARMS V1.0 模式都有所减小。

3.4 高空要素检验

以上分析主要对 SMS-WARMS V2.0 模式和 SMS-WARMS V1.0 模式的地面要素预报进行比较检验,由于天气变化是大气环流演变的结果,因此要全面的分析模式改进效果,还需要对模式的形势场预报进行检验,以便从多角度、多层面了解模式问题,方便模式开发人员对其进行改进。为了对比分析 SMS-WARMS V2.0 模式和 SMS-WARMS V1.0 模式对主要形势场的预报性能,本文对 500 hPa 位势高度场和 850 hPa 温度场、风场和相对湿度场进检验分析。

表 3 列出 SMS-WARMS V2.0 模式和 SMS-WARMS V1.0 模式 2014 年 6—12 月各主要高空

要素场的对比检验结果。由表可见, SMS-WARMS V2.0 模式对 500 hPa 位势高度场预报的 24 和 48 h 相关系数均高于 SMS-WARMS V1.0 模式,比较两模式预报的 RMSE 可见, SMS-WARMS V2.0 模式的 24 和 48 h 预报 RMSE 都小于 SMS-WARMS V1.0 模式,从 850 hPa 温度场的预报效果分析, SMS-WARMS V2.0 模式预报 RMSE 小于 SMS-WARMS V1.0 模式,相关系数高于 SMS-WARMS V1.0 模式。 SMS-WARMS V2.0 模式对 850 hPa 风场预报的 24 和 48 h 相关系数都高于 SMS-WARMS V1.0 模式,但 RMSE 大于 SMS-WARMS V1.0 模式。新版模式对 850 hPa 相对湿度的预报相对原模式没有提高, RMSE 大于 SMS-WARMS V1.0 模式,相关系数略低于 SMS-WARMS V1.0 模式。

综合以上分析结果可见, SMS-WARMS V2.0 模式就模式开发者和预报员关注的对流层中层高度场预报和低层温度场预报相对于 SMS-WARMS V1.0 模式都有所改进,对 850 hPa 风场预报的相关系数高于原模式,而 850 hPa 相对湿度预报没有提高。

表 3 SMS-WARMS V2.0 与 SMS-WARMS V1.0 模式高空要素场检验

		RMSE		相关系数	
		SMS-WARMS V1.0	SMS-WARMS V2.0	SMS-WARMS V1.0	SMS-WARMS V2.0
24 h 预报	500 hPa 位势高度	1.68	1.67	0.966	0.970
	850 hPa 温度场	1.45	1.43	0.875	0.887
	850 hPa 风场	2.87	2.95	0.708	0.716
	850 hPa 相对湿度	1.55	1.61	0.764	0.753
48 h 预报	500 hPa 位势高度	1.92	1.84	0.962	0.964
	850 hPa 温度场	1.69	1.66	0.831	0.859
	850 hPa 风场	3.25	3.30	0.615	0.650
	850 hPa 相对湿度	1.79	1.87	0.694	0.665

3.5 典型天气个例检验

2014 年 6 月 20—23 日,受梅雨锋和切变线影响,长江以南地区发生一次大范围降水过程,华东地区出现大范围暴雨天气(图 7)。6 月 20—21 日,暴雨区主要位于江西北部 and 安徽、江苏、浙江交界,大暴雨主要出现在江西北部(图 7a)。6 月 21—22 日,暴雨区东移,主要位于江西西部和浙江境内,大暴雨主要出现在浙江西部(图 7b)。6 月 22—23 日,暴雨区主要位于浙江境内和福建北部,大暴雨主要位于浙江中部。

表 4 给出了 SMS-WARMS V2.0 和 SMS-WAR

MS V1.0 模式对本次强降水过程的 24 h 预报 ETS 评分,如表所示, SMS-WARMS V2.0 模式从 2014 年 6 月 20 日 08 时起报连续三次的暴雨降水预报技巧都高于 SMS-WARMS V1.0 模式,其中 6 月 22 日

表 4 SMS-WARMS V2.0 与 SMS-WARMS V1.0 24 h 降水预报 ETS 评分

Table 4 ETS of 24 h precipitation forecasts of SMS-WARMS V2.0 and SMS-WARMS V1.0

起报时次	暴雨	
	SMS-WARMSV1.0	SMS-WARMSV2.0
2014 年 6 月 20 日 08 时	0.14	0.19
2014 年 6 月 21 日 08 时	0.23	0.29
2014 年 6 月 22 日 08 时	0.24	0.34

08 时的预报技巧评分为 0.34, 而原模式系统为 0.24, 高出 0.1。以 2014 年 6 月 22 日 08 时起报的结果为例(图 8), 如图 7c 所示, 实况中的暴雨主要分布在浙江境内, 对比 SMS-WARMS V1.0 和 SMS-WARMS V2.0 模式, 后者相对于前者对暴雨区的预报更为接近, SMS-WARMS V1.0 模式对暴雨的预报略偏南, 影响范围也小于实况。对比分析两模式

此次个例的列联表(表 5)可见, SMS-WARMS V2.0 预报和观测均有暴雨的样本数为 736 个, 高于 SMS-WARMS V1.0 模式的 588 个, 而观测有暴雨预报没有的样本数为 101, 低于 SMS-WARMS V1.0 模式, 因此高击中率和低漏报率是造成 SMS-WARMS V2.0 模式预报技巧高于 SMS-WARMS V1.0 模式的主要原因。

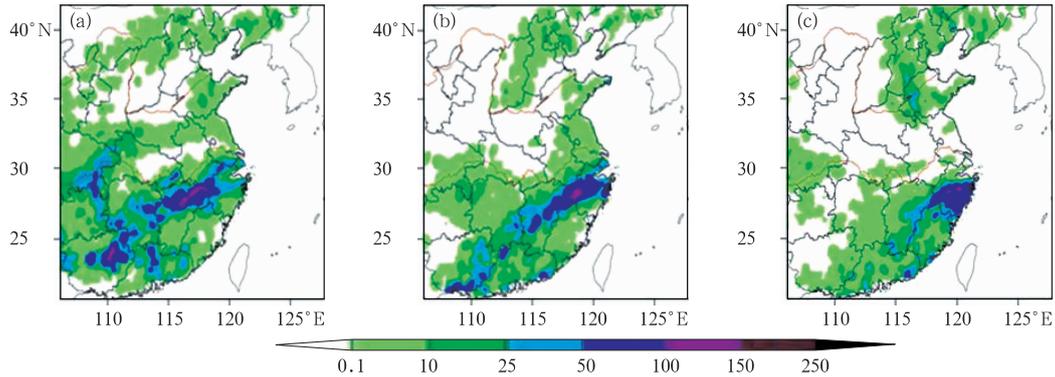


图 7 2014 年 6 月 20 日 08 时至 21 日 08 时(a)、21 日 08 时至 22 日 08 时(b)和 22 日 08 时至 23 日 08 时(c)24 h 累计实况降水量(单位:mm)

Fig. 7 Accumulated 24 h observed rainfall during 08:00 BT 20 to 08:00 BT 21 (a), 08:00 BT 21 to 08:00 BT 22 (b), and 08:00 BT 22 to 08:00 BT 23 (c) June 2014 (unit: mm)

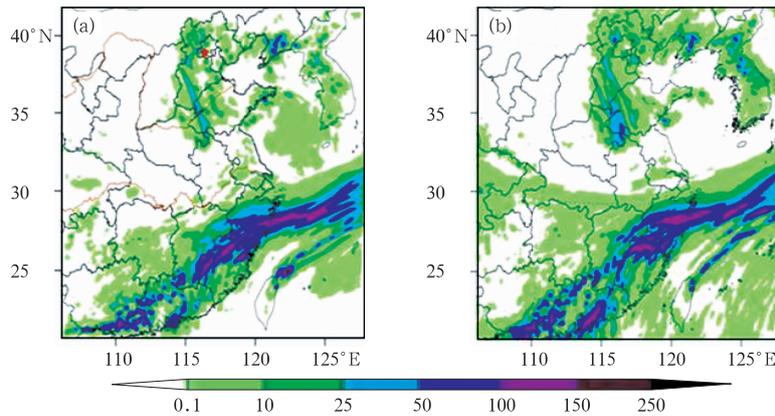


图 8 2014 年 6 月 22 日 08 时 SMS-WARMS V1.0(a) 和 SMS-WARMS V2.0(b)模式预报的 24 h 降水(单位:mm)

Fig. 8 Accumulated 24 h rainfall from 08:00 BT 22 to 08:00 BT 23 June 2014 forecasted by SMS-WARMS V1.0 (a) and SMS-WARMS V2.0 (b) (unit: mm)

表 5 典型个例降水检验列联表

Table 5 The contingency table of rainfall verification of typical case

预报事件	观测事件			
	发生		未发生	
	SMS-WARMS V1.0	SMS-WARMS V2.0	SMS-WARMS V1.0	SMS-WARMS V2.0
发生	588	736	198	280
未发生	249	101	705	623

4 结论和讨论

对 2014 年 6—12 月 SMS-WARMS V2.0 模式和 SMS-WARMS V1.0 模式预报结果进行检验分析,得出以下结论:

(1) 从 TS 评分的降水统计检验结果来看, SMS-WARMS V2.0 模式对各个量级降水的预报技巧都优于 SMS-WARMS V1.0 模式。从 ETS 评分的统计结果和 ETS 评分分布图分析可见,除了在大雨量级的 ETS 评分基本相当, SMS-WARMS V2.0 模式其他量级的 ETS 评分都优于 SMS-WARMS V1.0 模式。从 PSS 评分的检验结果来看, SMS-WARMS V2.0 模式对降水事件发生和不发生的预报能力相对于 SMS-WARMS V1.0 模式均进一步增强。两模式的预报偏差均以偏大为主, SMS-WARMS V2.0 模式偏大更明显一些。

(2) SMS-WARMS V2.0 模式对 2 m 温度预报效果较好, 多月平均的预报 RMSE 小于 SMS-WARMS V1.0 模式, 且预报准确率高于 SMS-WARMS V1.0 模式, 表明 SMS-WARMS V2.0 模式对 2 m 温度的预报效果优于 SMS-WARMS V1.0 模式。

(3) 从 10 m 风的预报检验结果看, SMS-WARMS V2.0 模式预报 RMSE 从逐月到多月平均值相对于 SMS-WARMS V1.0 模式都是减小的, 其中 12 月误差减小最为明显。

(4) 高空形势场的检验结果表明, SMS-WARMS V2.0 模式对 500 hPa 位势高度场和 850 hPa 温度场的预报性能都较 SMS-WARMS V1.0 模式有改进, 预报场和观测场的相关性有所提高, 预报 RMSE 相对减小。SMS-WARMS V2.0 模式对 850 hPa 风场预报的 24 和 48 h 相关系数都高于 SMS-WARMS V1.0 模式, 但 RMSE 大于 SMS-WARMS V1.0 模式。新版模式对 850 hPa 相对湿度的预报相对原模式没有提高, RMSE 大于 SMS-WARMS V1.0 模式, 相关系数略低于 SMS-WARMS V1.0 模式。

本文采用 2014 年 6—12 月的数据资料, 对 SMS-WARMS V2.0 模式的降水、2 m 温度场、10 m 风速、500 hPa 位势高度场、850 hPa 温度场、风场和

相对湿度进行了初步检验, 接下来还需要收集更多预报样本进行深入研究, 分析模式对更多要素的预报性能, 为模式研发人员提供有利于模式改进的有益信息。

参考文献

- 陈超君, 李俊, 王明欢. 2014a. 2013 年华中区域中尺度业务数值预报的客观检验. 暴雨灾害, 33(2):187-192.
- 陈超君, 王东海, 李国平, 等. 2014b. 冬季高海拔复杂地形下 GRAPES_Meso 要素预报的检验评估. 气象, 38(6):657-668.
- 成璐, 沈润平, 师春香, 等. 2014. CMORPH 和 TRMM3B42 降水估计产品的评估检验. 气象, 40(11):1372-1379.
- 刘佳, 徐金霞, 马振峰, 等. 2014. 第二代月动力延伸预报产品对西南汛期降水的预报检验. 高原气象, 33(6):1468-1479.
- 刘静, 叶金印, 张晓红, 等. 2014. 淮河流域汛期雨量多模式预报检验评估. 暴雨灾害, 33(1):58-64.
- 潘留杰, 张宏芳, 王建鹏. 2014a. 数值天气预报检验方法研究进展. 地球科学进展, 29(3):327-335.
- 潘留杰, 张宏芳, 王建鹏, 等. 2014b. 日本高分辨率模式对中国降水预报能力的客观检验. 高原气象, 33(2):483-494.
- 王雨. 2002. 2002 年主汛期国家气象中心主客观降水预报对比检验. 气象, 29(5):21-25.
- 王雨, 公颖, 陈法敬, 等. 2013. 区域业务模式 6h 降水预报检验方案比较. 应用气象学报, 24(2):171-178.
- 王雨, 李莉. 2010. GRAPES_Meso V3.0 模式预报效果检验. 应用气象学报, 21(5):524-534.
- 徐同, 李佳, 王晓峰, 等. 2010. 2009 年 5—9 月上海区域中尺度模式降水预报检验评估. 大气科学研究与应用, (2):1-14.
- 徐同, 李佳, 王晓峰, 等. 2011. 2010 年汛期华东区域中尺度模式预报效果检验. 大气科学研究与应用, (2):10-23.
- 许建伟, 高艳红. 2014. WRF 模式对夏季黑河流域气温和降水的模拟及检验. 高原气象, 33(4):937-946.
- 于晓晶, 于志翔, 辛渝, 等. 2014. 沙漠绿洲戈壁区域同化预报系统. 暴雨灾害, 33(3):281-289.
- 张宏芳, 潘留杰, 杨新. 2014. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析. 气象, 40(4):424-432.
- 张利红, 何光碧. 2014. GRAPES_Meso 模式对 2011 年夏季青藏高原东部及周边区域的预报检验. 高原气象, 33(1):14-25.
- 中国气象局. 2005. 中短期天气预报质量检验办法(试行). 气发[2005]109 号.
- Gilbert G F. 1984. Finley's tornado predictions. Amer Meteorol J, 1:166-172.
- Murphy A H. 1996. The Finley Affair: A signal event in the history of forecast verification. Wea Forecasting, 11(1):3-20.
- Murphy A H, Winkler R L. 1986. A general framework for forecast verification. Mon Wea Rev, 115(7):1330-1338.